



РОБОТА

на здобуття премії Президента України для молодих вчених

Інноваційні технології повоєнного відновлення та модернізації суден і портової інфраструктури засобами робототехніки для підвищення їх енергоефективності, екологічності та рівня автоматизації

Представлено Національним університетом кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України

*Автори: к.т.н. Вінниченко І. Л., к.т.н. Герасін О. С., к.т.н. Топалов А. М.,
докт. філ. Недорода В. М.*

Миколаїв
2024



Актуальність роботи та мета досліджень

До традиційних цивільних пошкоджень (як-то корозія, знос обладнання або аварія з неумисним людським фактором) в Україні додаються військові чинники або пошкодження, спричинені бойовими діями (внаслідок впливу мін, безпілотних комплексів, ракет та інших засобів ураження). Процес післявоєнного відновлення плавучих та берегових об'єктів є багатоступінчатим та включає в себе ряд особливостей кожного конкретного випадку. Проте в цілому можна визначити перелік спільних міжгалузевих проблем, які пов'язані з портовою енергетичною інфраструктурою, системами керування доковими операціями, роботизованими комплексами відновлення пошкоджених об'єктів і забруднених територій та потребують сумісного вирішення з використанням сучасних методів і засобів. При цьому в процесі післявоєнної відбудови портової інфраструктури України доцільно одночасно проводити модернізацію та закладати «запас» перспективних технологій для більш ефективного вирішення цільових завдань у довготривалій перспективі.

Науково-технічною проблемою, яка вирішується в роботі, є *зменшення часових, енергетичних витрат та екологічних наслідків під час відновлення і/або модернізації пошкоджених об'єктів портової інфраструктури, суден, територій та акваторій при виконанні основних технологічних операцій із загальним підвищенням безпеки їх виконання.*

Метою наукової роботи є підвищення енергоефективності, екологічності та рівня автоматизації процесів повоєнного відновлення та модернізації суден і портової інфраструктури за рахунок удосконалення існуючих та створення нових моделей, методів та різнотипних засобів сучасної робототехніки, керуючих і біологічних систем, які можуть створити конкуренцію світовим аналогам та успішно застосовуватися на вітчизняних та закордонних профільних підприємствах.

Об'єктом дослідження є процеси моніторингу, контролю, керування та відновлення основних експлуатаційних параметрів об'єктів портової інфраструктури та засобів для їх модернізації та сервісного обслуговування.

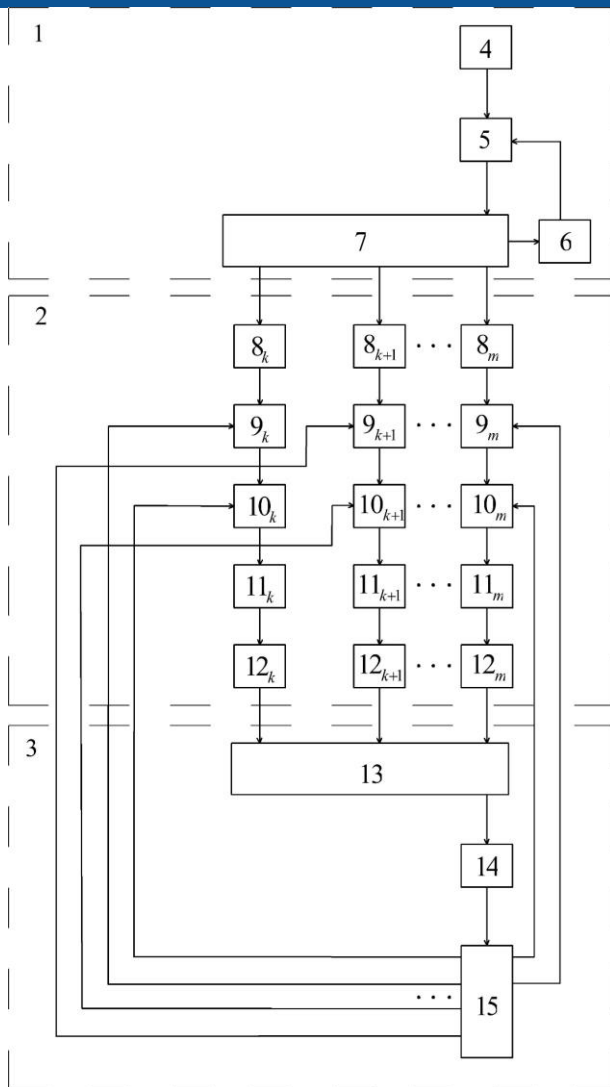
Предметом дослідження є моделі, методи, структури та програмно-технічні засоби систем моніторингу, контролю і керування експлуатаційними параметрами та технології екологічного відновлення об'єктів портової інфраструктури.



Розробка інноваційних технологій для повоєнного відновлення та модернізації суден і портової інфраструктури вбачається за рахунок:

- а)** удосконалення методики проектування відцентрових компресорів для отримання оптимальних за ККД параметрів лопаток робочого колеса з високим ступенем наочності;
- б)** розробки енергоефективних резонансних перетворювачів постійної та змінної напруги для здійснення безконтактної зарядки екологічно чистих суден і вантажно-транспортного обладнання з електричною тягою та удосконалення систем розмагнічування суден під час портових операцій;
- в)** модернізації системи керування доковими операціями спуску та підйому судна введенням інтелектуальних керуючих пристроїв для підвищення енергоефективності, надійності та зменшення часу проведення докових операцій;
- г)** удосконалення системи керування мобільним роботом для опрацювання пошкоджених поверхонь суден та нанесення захисних покриттів з високим рівнем автоматизації та енергетичної ефективності виконуваних операцій;
- д)** розробки систему автоматичного контролю параметрів водного середовища з бездротовою передачею даних та автономного робота для відбору та аналізу проб води;
- е)** створення концепції технології біоремедіації нафтовмісних забруднень та утилізації нафтових шламів засобами робототехніки з використанням комплексу з новітнього експериментального біопрепарату на основі консорціуму мікроорганізмів роду *Bacillus*.

Інформаційно-обчислювальний комплекс для комп'ютерного проектування відцентрового компресора



1 – програмний блок введення даних; 2 – програмний блок розрахунку та накопичення даних; 3 – програмний блок параметричної оптимізації; 4 – блок початкової обробки даних; 5 – блок розрахунку кількості кроків; 6 – блок уточнення числа кроків; 7 – блок формування даних для розрахунку параметрів кожного ступеня; $8_k, 8_{k+1}, 8_m$ – блоки визначення основних розмірів робочого колеса та дифузора; $9_k, 9_{k+1}, 9_m$ – блоки для визначення геометричних параметрів лопаток робочого колеса; $10_k, 10_{k+1}, 10_m$ – блоки визначення геометричних параметрів лопаток дифузора; $11_k, 11_{k+1}, 11_m$ – блоки визначення складових швидкостей обертання робочого колеса та дифузора; $12_k, 12_{k+1}, 12_m$ – блоки визначення термодинамічних параметрів робочого колеса та дифузора; 13 – блок аналізу взаємодіючих параметрів кожного ступеня; 14 – блок пошуку оптимізованих значень; 15 – блок корекції геометричних параметрів.

Вхідні дані

Об'ємна подача ступені	<input type="text"/>	м³/с	Термодинамічні характеристики газу в нормальних умовах	
Вхідний тиск	<input type="text"/>	МПа	Показник адіабати	<input type="text"/>
Вихідний тиск	<input type="text"/>	МПа	Універсальна газова стала	<input type="text"/> Дж/кг·К
Початкова температура газу	<input type="text"/>	К	Густина газу	<input type="text"/> кг/м³
			Кількість ступенів компресора	<input type="text"/>

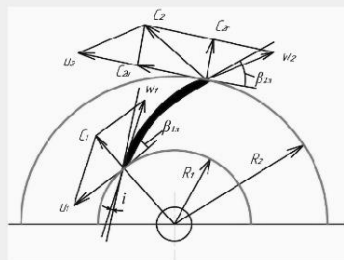
Розрахувати

Оптимізація геометричних параметрів робочого колеса відцентрового компресора за критерієм ККД

Розрахунок однієї ступені компресора, що ідентична іншим ступеням

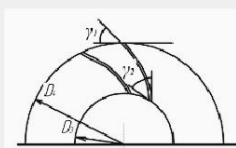
Робоче колесо

Діаметри D1 м D2 м
 Товщина лопаті j м
 Площа вхідного каналу F1 м²
 Площа вихідного каналу F2 м²
 Абсолютні швидкості робочого колеса C1 м/с C2 м/с
 Швидкість повітря на вході в робоче колесо ω1 м/с
 Температура на виході To К



Дифузор

Діаметри D3 м D4 м
 Товщина лопаті f м
 Площа вхідного каналу F3 м²
 Площа вихідного каналу F4 м²
 Абсолютна швидкість на виході з дифузора C4 м/с



Параметрична оптимізація геометричних параметрів лопатей робочого колеса та дифузора методом градієнтного спуску

Реальне значення подачі ступені м³/с
 Задане значення подачі ступені м³/с
 Різниця початкового та кінцевого тисків МПа

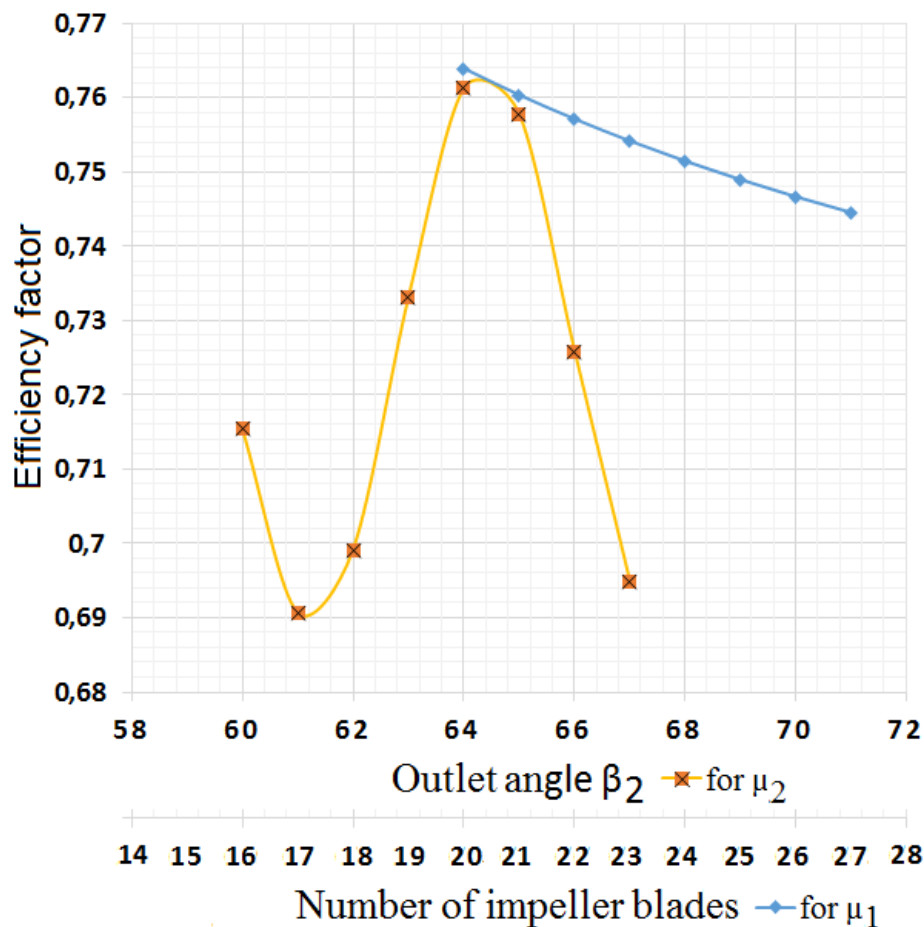
Робоче колесо

Оптимізована площа вхідного каналу м²
 Оптимізована площа вихідного каналу м²
 Кількість лопатей

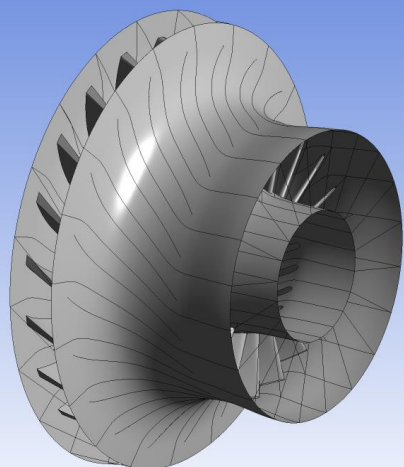
Дифузор

Оптимізована площа вхідного каналу м²
 Оптимізована площа вихідного каналу м²
 Кількість лопатей

Графіки ККД та коефіцієнта зміни напору



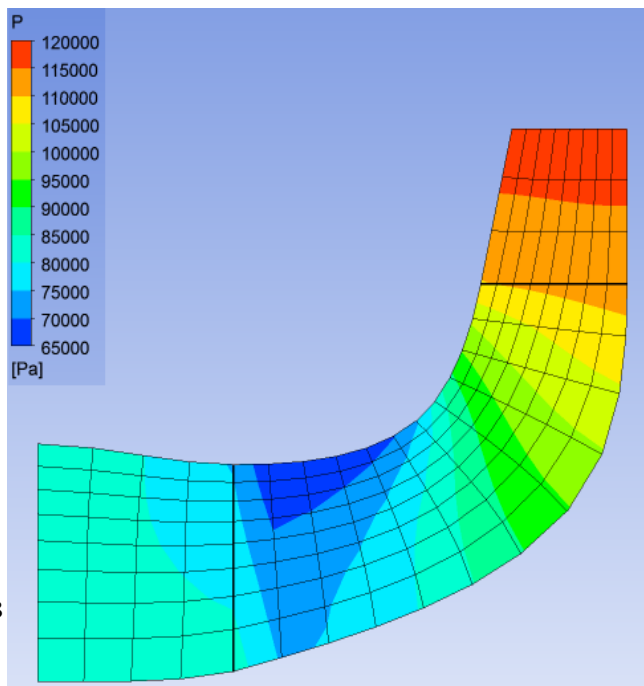
Верифікація розрахунку ступеня компресора методом скінчених елементів



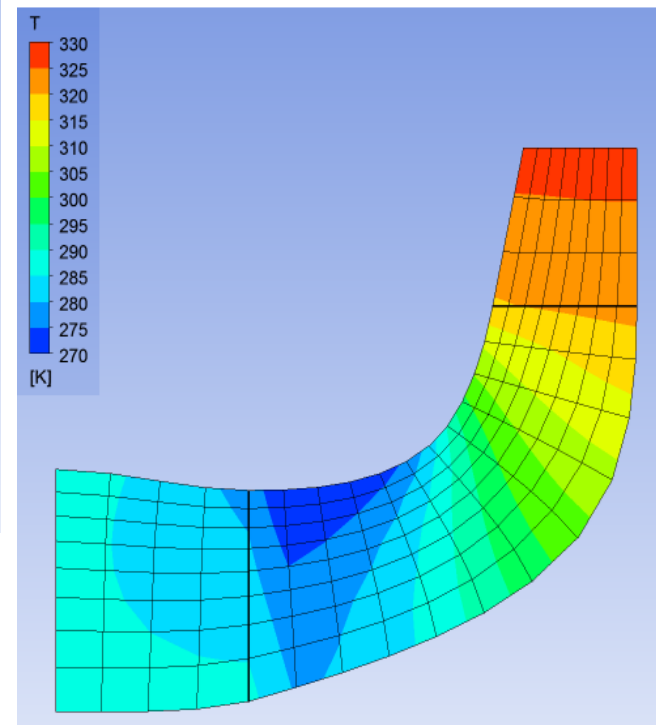
Імітаційна модель робочого колеса з 20 лопатками

Параметри газу на вході та виході з робочого колеса

Параметр	Вхід до робочого колеса	Вихід з робочого колеса
C_u , m/s	2	180
C_m , m/s	230	70
P , Pa	65 000	120 000
T , K	285	330



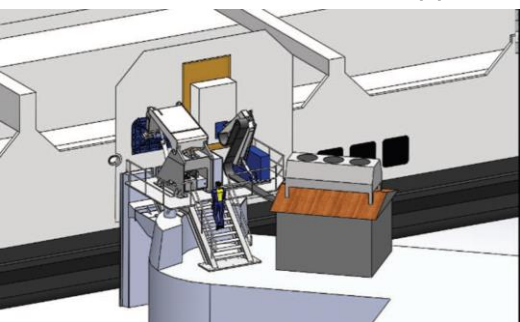
розподіл тиску у міжлопаткових каналах робочого колеса



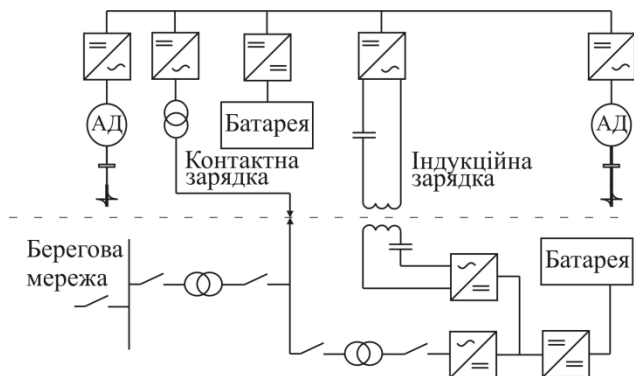
розподіл температури у міжлопаткових каналах робочого колеса

Енергоефективні резонансні перетворювачі в системах безконтактної зарядки тягових батарей і системах розмагнічування суден

Система індукційної зарядки судна на електричній тязі:
Зовнішній вигляд



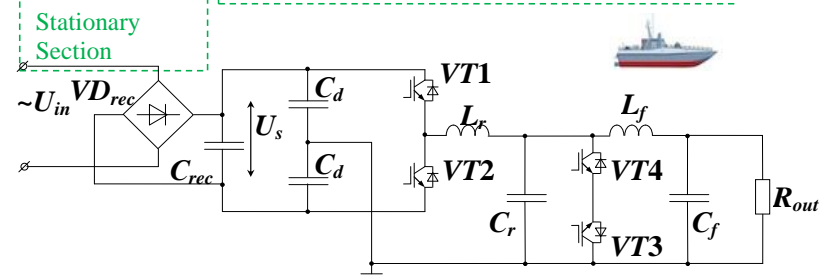
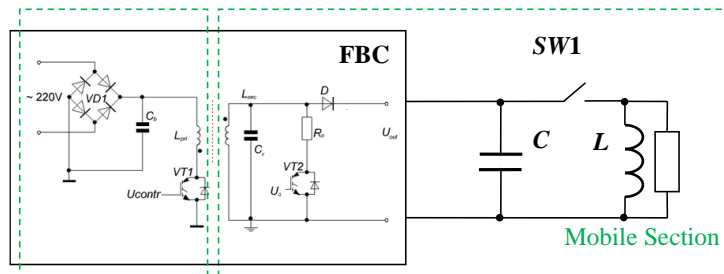
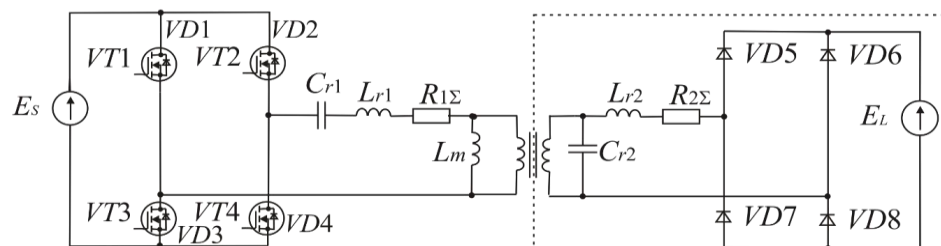
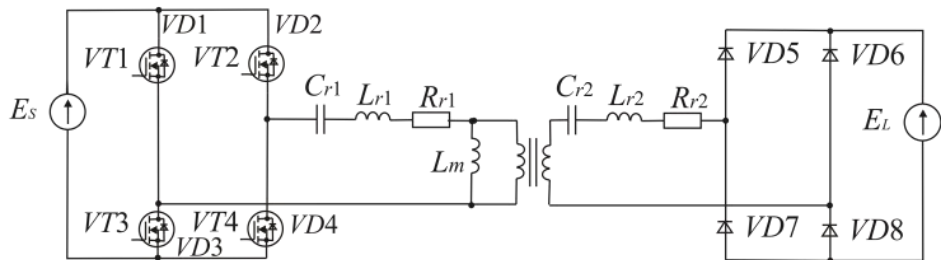
Структурна схема



Переваги резонансних перетворювачів (РП) електроенергії для систем розмагнічування суден та зарядних пристроїв акумуляторів та тягових батарей:

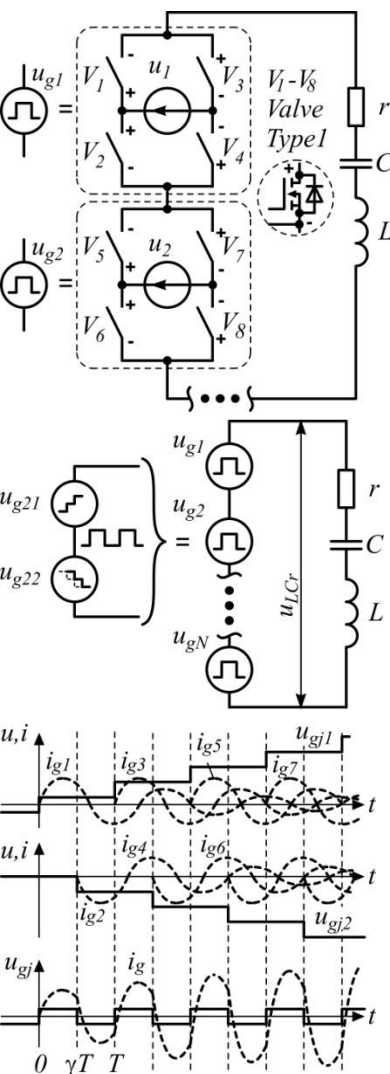
- зменшений рівень генерованих електромагнітних завад;
- природне обмеження швидкості наростання струмів перевантажень в силовій схемі і як наслідок, вищий ККД;
- Менші маса і габарити завдяки високій частоті оперування

Резонансні перетворювачі для систем безконтактної зарядки та систем розмагнічування суден



Mobile Section

Методика розрахунку статичних характеристик резонансного перетворювачів мостового типу з різною конфігурацією резонансних контурів



– Силова схема РП повинна бути лінійною на ділянках усталеного режиму для того, щоб аналізувати процеси за принципом накладання. Нелінійності, які характерні для реальних схем, можуть бути враховані надалі при чисельному моделюванні.

– РП представлений у вигляді пасивного ланцюга з активними опорами, індуктивностями та ємностями, до якого за допомогою керованих ідеалізованих вентилів підключаються джерела напруги.

– Протягом міжкомутаційного проміжку загальна напруга контуру вважається постійною, що забезпечується належним вибором частоти комутації і накладенням обмежень на швидкість зміни напруг, що підключаються до контуру.

Порядок знаходження складових стаціонарного струму контуру:

1. Визначаємо перехідну функцію контуру для одного ступеня напруги $u_{stp}(t)=1(t)$ (функція Хевісайда) в операторній формі. $u_{stp}(s)=1(s)=1/s$
2. Знаходимо дискретне зображення перехідної функції з періодом дискретності T та усуненням усередині періоду дискретності. $h_i(t) \Rightarrow h_i(kT+\varepsilon T) \Rightarrow h_i(z, \varepsilon)$
3. Знаходимо перехідну складову струму $i(z, \varepsilon)=u_{stp}(z)h_i(z, \varepsilon)$ та його стаціонарну складову, $i_{\omega}(\varepsilon)$ користуючись теоремою про кінцеве значення функції: $\lim_{k \rightarrow \infty} i(kT+\varepsilon T) \Rightarrow \lim_{z \rightarrow 1} h_i(z, \varepsilon) = i_{\omega}(\varepsilon)$

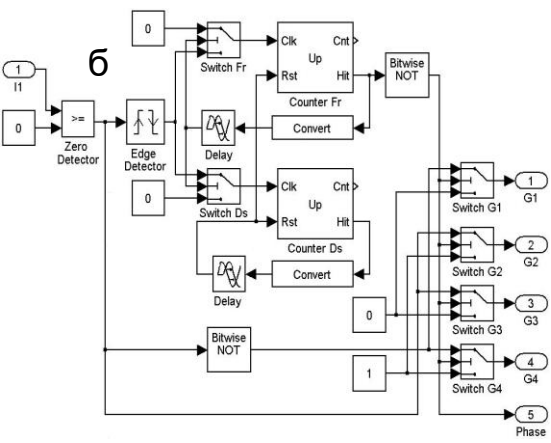
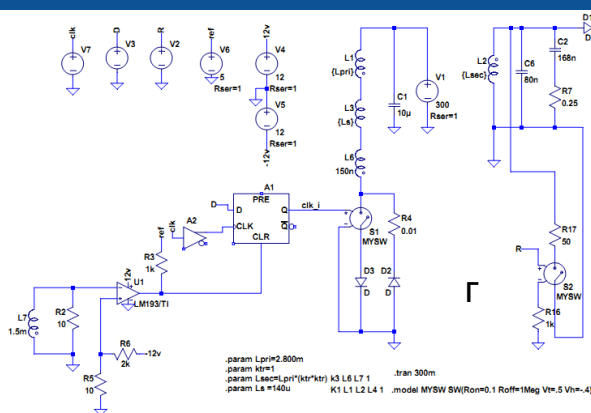
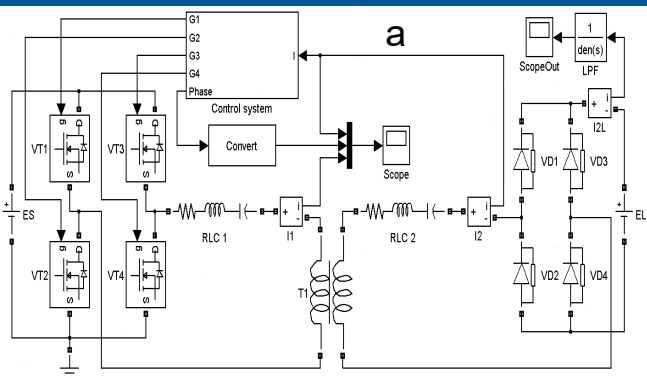
Вираз стаціонарного струму: $i_{st}(\varepsilon) = i_{\omega s}(\varepsilon) + i_{\omega c}(\varepsilon) + i_{\omega q}(\varepsilon)$

$$\left. \begin{aligned}
 i_{\omega s}(\varepsilon) &= u_{sm} \left[i_{\omega}(\varepsilon) - \psi_s(\varepsilon)i_{\omega}(\varepsilon+1-\alpha) - (\psi_{c1}(\varepsilon) + \psi_{c2}(\varepsilon) + \psi_q(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon-\alpha) \right]; \\
 i_{\omega c}(\varepsilon) &= u_{cm} \left[-i_{\omega}(\varepsilon) + \psi_s(\varepsilon)i_{\omega}(\varepsilon+1-\alpha) + (\psi_{c1}(\varepsilon) + \psi_{c2}(\varepsilon) + \psi_q(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon-\alpha) - \right. \\
 &\quad \left. - (\psi_s(\varepsilon) + \psi_{c1}(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon+1-\alpha-\tau) - (\psi_q(\varepsilon) + \psi_{c2}(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon-\alpha-\tau) + \right. \\
 &\quad \left. + (\psi_s(\varepsilon) + \psi_{c1}(\varepsilon) + \psi_q(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon+1-2\alpha-\tau) + \psi_{c2}(\varepsilon)i_{\omega}(\varepsilon-2\alpha-\tau) \right]; \\
 i_{\omega q}(\varepsilon) &= u_{qm} \left[(\psi_s(\varepsilon) + \psi_{c1}(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon+1-\alpha-\tau) + (\psi_q(\varepsilon) + \psi_{c2}(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon-\alpha-\tau) - \right. \\
 &\quad \left. - (\psi_s(\varepsilon) + \psi_{c1}(\varepsilon) + \psi_q(\varepsilon))i_{\omega}(\varepsilon+1-2\alpha-\tau) - \psi_{c2}(\varepsilon)i_{\omega}(\varepsilon-2\alpha-\tau) \right].
 \end{aligned} \right\}$$

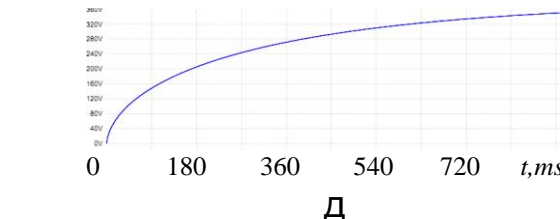
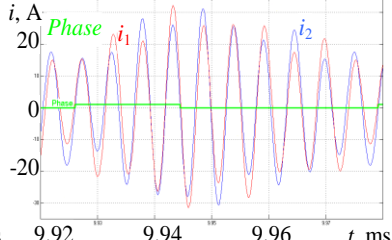
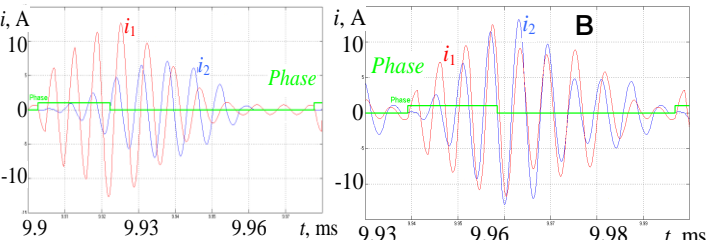
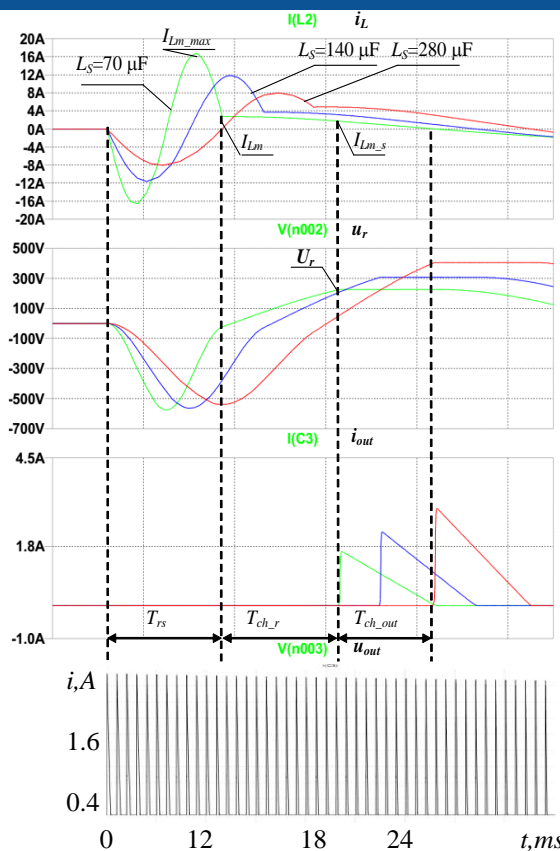
Середній струм навантаження:

$$I_q(q, \tau) = \int_0^T \psi_q(\varepsilon) i_{st}(\varepsilon, \tau) d\varepsilon$$

Імітаційне моделювання резонансних перетворювачів для систем безконтактної зарядки та розмагнічування суден



а) РП з двома послідовними резонансними контурами;
 б) система число-імпульсного керування РП (а);
 в) струм первинної (i_1) та вторинної (i_2) обмоток трансформатора;
 г) модель зворотно-ходового резонансного перетворювача з індуктивністю розсіювання трансформатора в якості резонансної;
 д) імпульси резонансних струму і напруги, кожного окремого імпульсу зарядного струму, послідовність зарядних імпульсів струму, напруга акумулятора.



Д

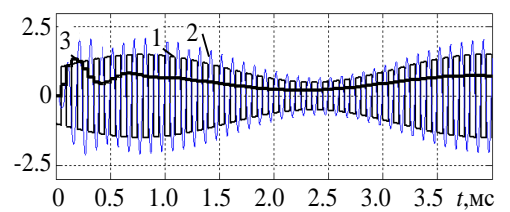
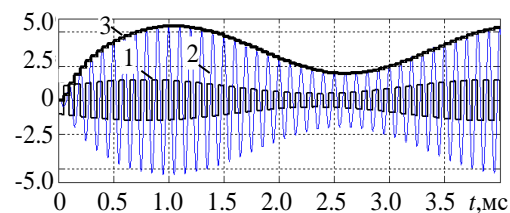
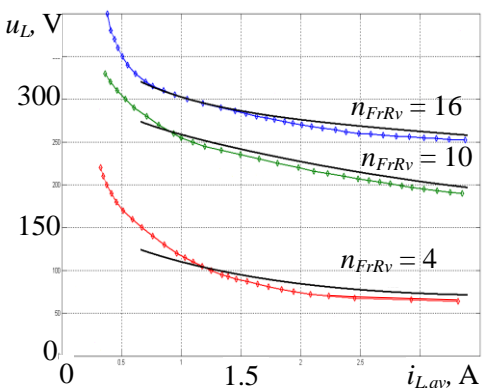


Статичні і динамічні характеристики енергоефективних резонансних перетворювачів

Послідовно-послідовний РП:

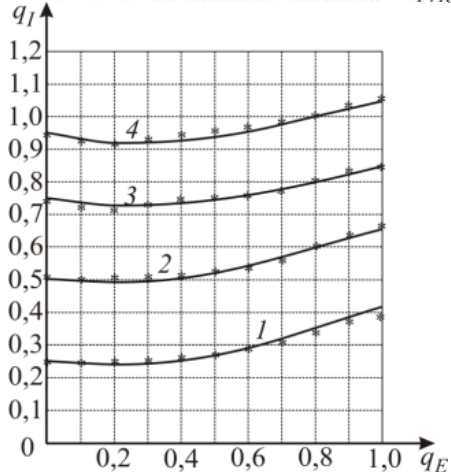
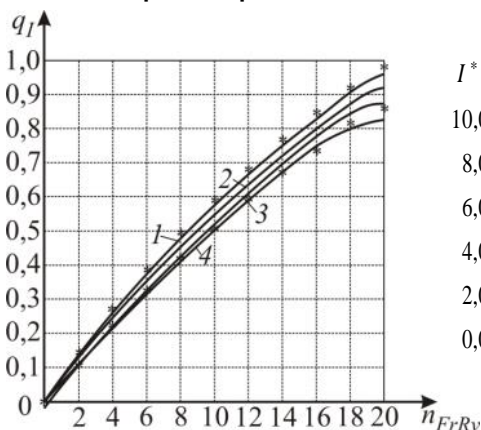
РП:

Зовнішня і динамічні характеристики



Послідовно-паралельний РП:

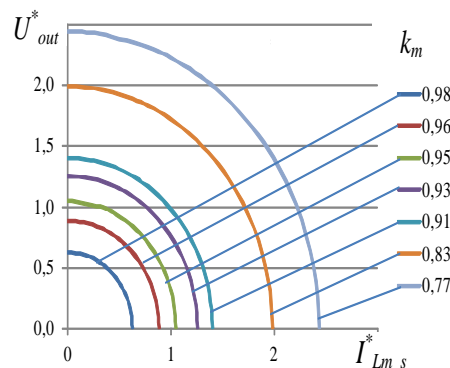
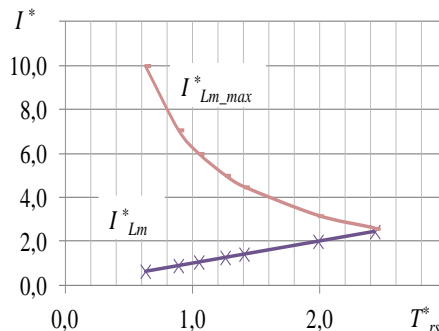
Регульовальна і зовнішня характеристики



Зворотно-ходовий РП:

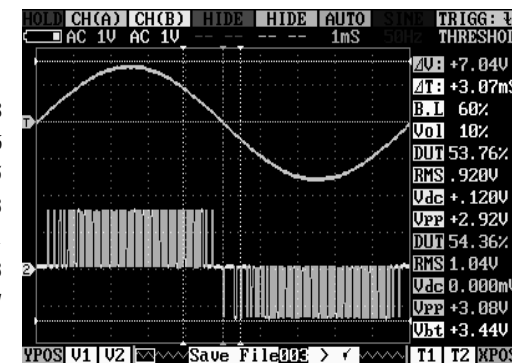
РП:

Регульовальна і зовнішня характеристики



РП змінної напруги:

експериментальний зразок і осцилограми вихідної напруги і резонансних імпульсів напруги

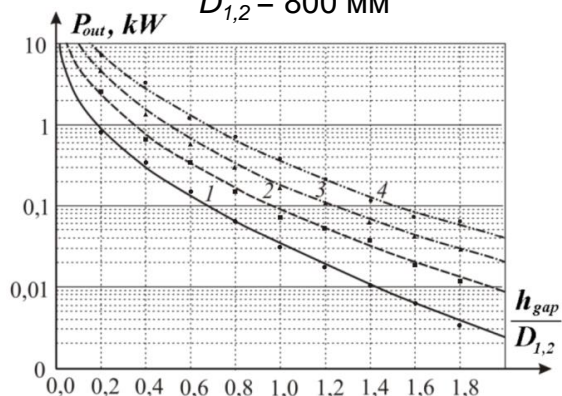




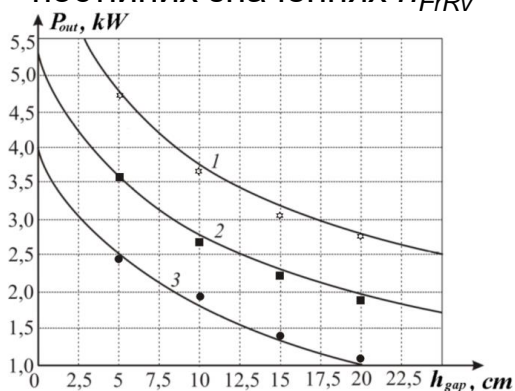
Енергетичні характеристики резонансних перетворювачів

Залежність вихідної потужності, від величини повітряного зазору h_{gap} між котушками трансформатора з діаметром котушки

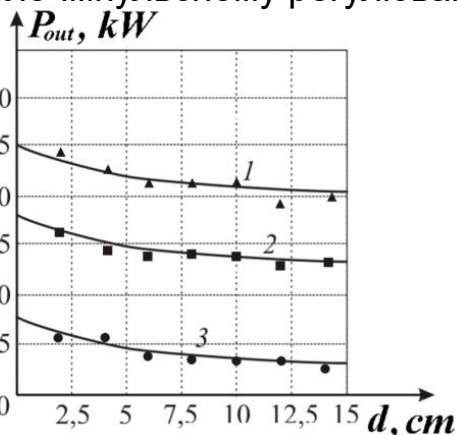
$D_{1,2} = 800$ мм



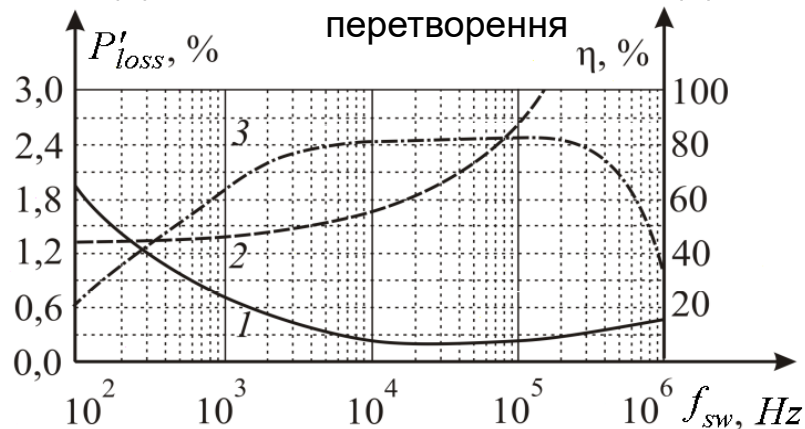
Залежність вихідної потужності перетворювача від розміру повітряного проміжку, отримані при постійних значеннях n_{FrRv}



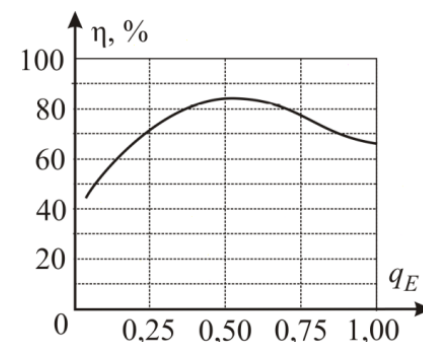
Залежність вихідної потужності від величини поздовжнього переміщення при число-імпульсному регулюванні



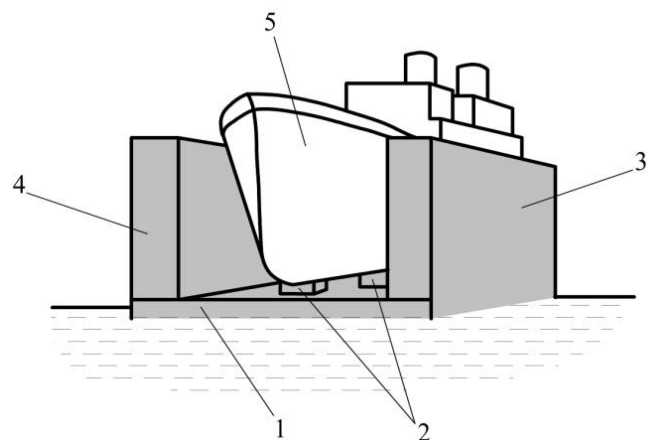
Залежність відносних втрат потужності в сердечнику (1), ключах (2), а також ККД перетворювача (3) від частоти перетворення



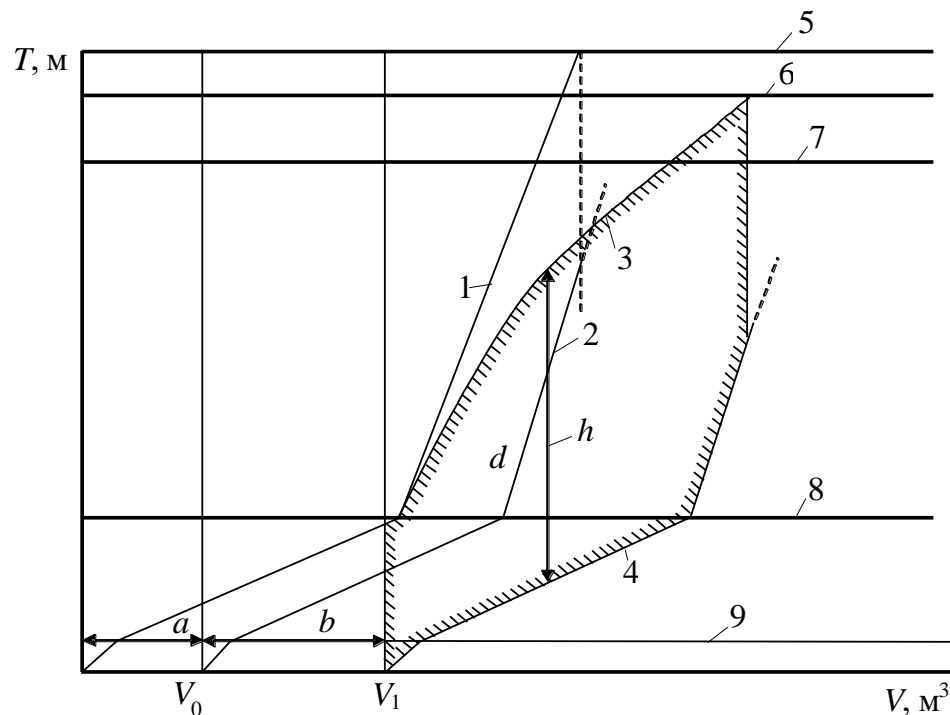
Залежність ККД від відносної проти-ЕРС навантаження із зазором 250 мм і діаметром котушки 700 мм



Діаграма затоплення плавучого доку



1 – понтон; 2 – докові опори; 3 – права вежа; 4 – ліва вежа; 5 – судно.

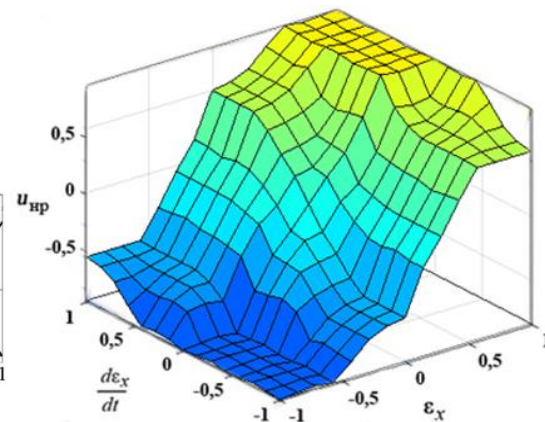
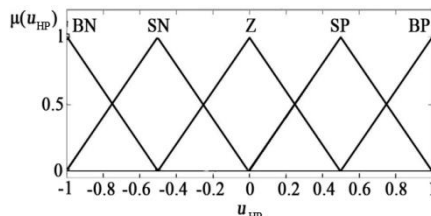
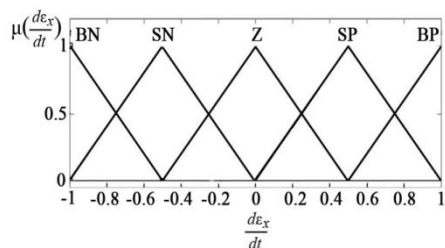
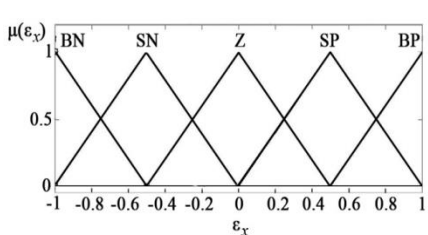


1 – вантажний розмір дока; 2 – вантажний розмір баласту дока без судна; 3 – вантажний розмір судна; 4 – вантажний розмір баласту дока з піднятим судном; 5 – гранична лінія занурення; 6 - ватерлінія спливання судна; 7 - палуба безпеки; 8 - стапель-палуба; 9 - верхня кромка кілеватості; a - водотоннажність дока; b - водотоннажність судна; H – напір.
Заштрихована повна робота насосної станції.

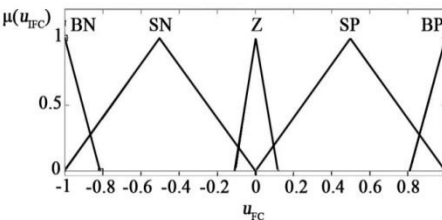
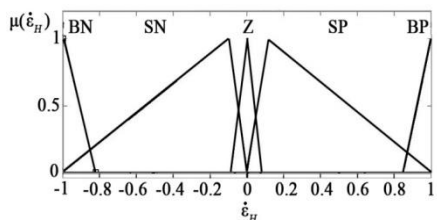
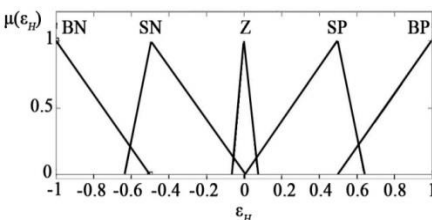
Синтез та оптимізація нечіткого ПД-контролера осадки з п'ятьма лінгвістичними термами

Характеристична поверхня не оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

Лінгвістичні терми не оптимізованого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$



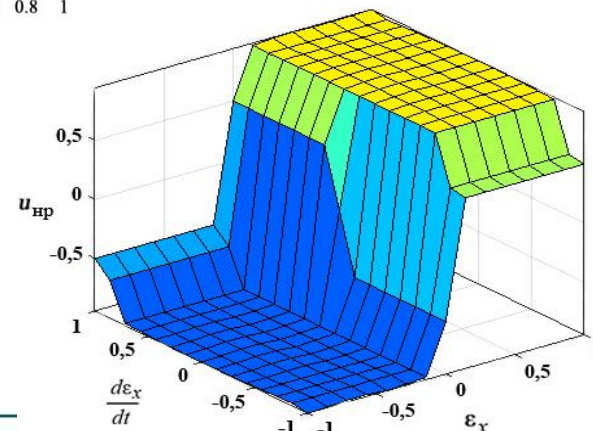
Лінгвістичні терми оптимізованого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$



Характеристична поверхня оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

База правил нечіткого ПД-контролера осадки при $m_i = w = 5$

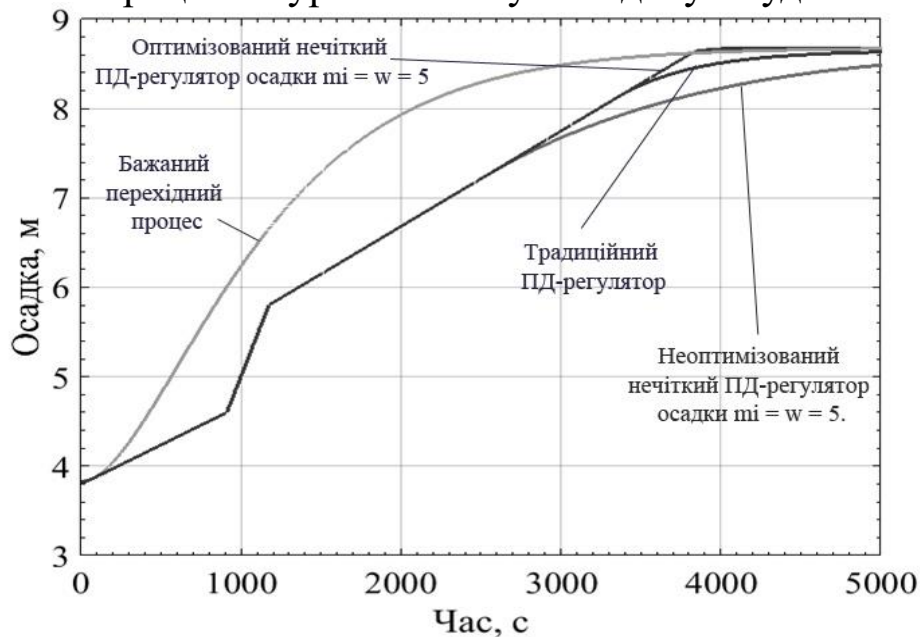
		Швидкість зміни похибок, $\frac{d\epsilon_x}{dt}$				
		BN	SN	Z	SP	BP
Похибка, ϵ_x	BN	BN	BN	BN	BN	SN
	SN	BN	BN	BN	SN	SN
	Z	BN	SN	Z	SP	BP
	SP	SP	SP	BP	BP	BP
	BP	SP	BP	BP	BP	BP



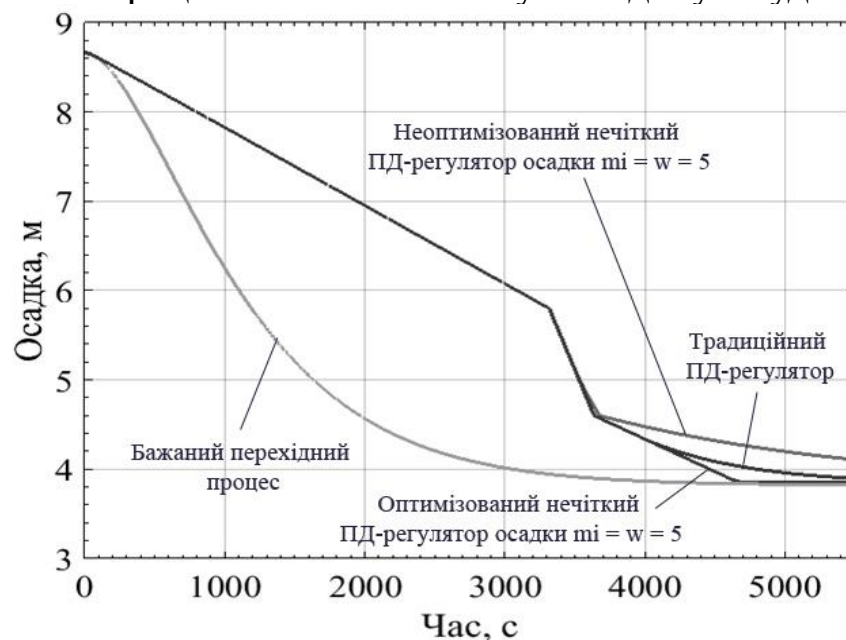


Результати моделювання системи контролю осадки плавучого доку з нечітким ПД-контролером ($m_i = w = 5$)

Операція занурення плавучого доку з судном

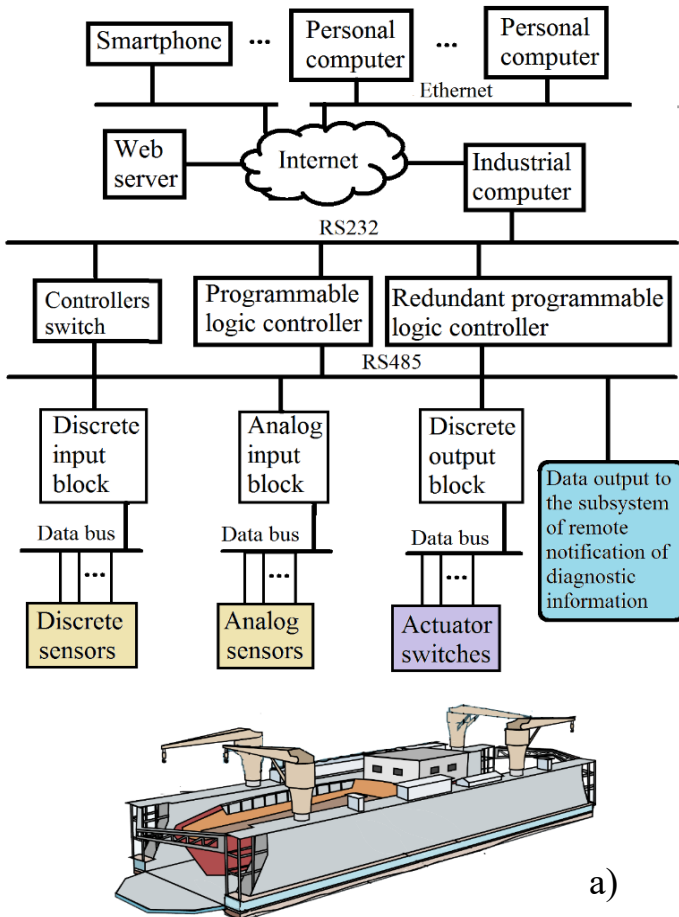


Операція спливання плавучого доку з судном

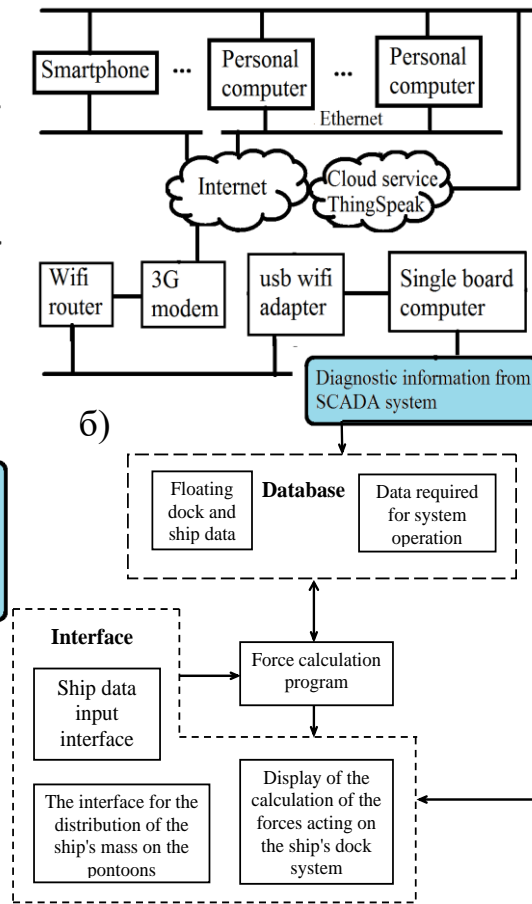


Показник і якості	Системи контролю якості показників					
	Оптимально налаштований ПД-контролер		Не оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 5$		Оптимізований нечіткий ПД-контролер осадки при $m_i = w = 5$	
	Докові операції плавучого доку					
	занурення	спливання	занурення	спливання	занурення	спливання
$\sigma, \%$	0	0	0	0	0	0
t_r, s	4200	6500	7000	10000	3800	4700
I	3196	12400	3520	12760	3178	12380

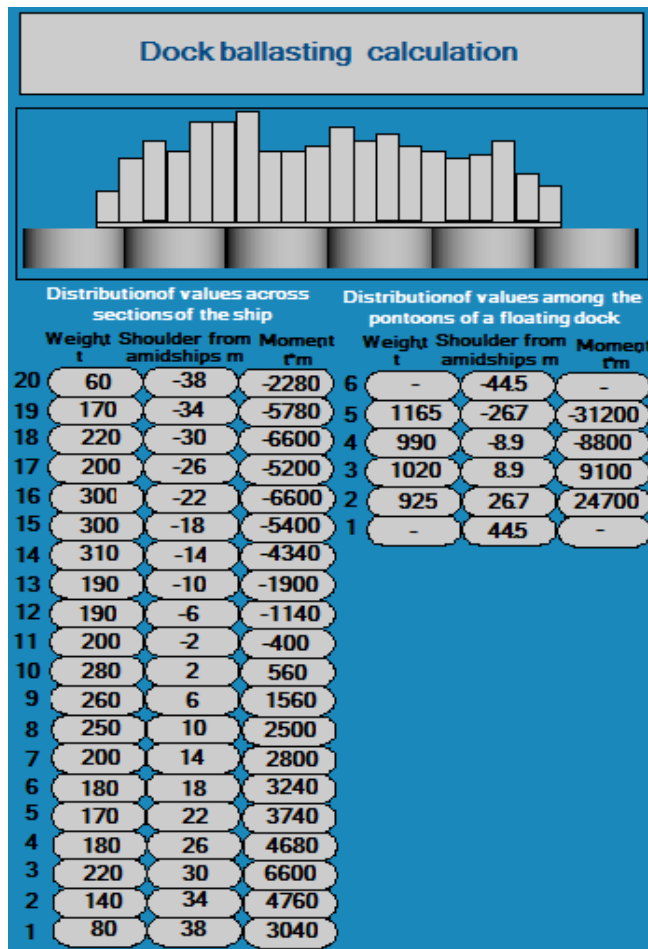
Системи підтримки прийняття рішень та мобільний додаток для баластування плавучого доку



a)



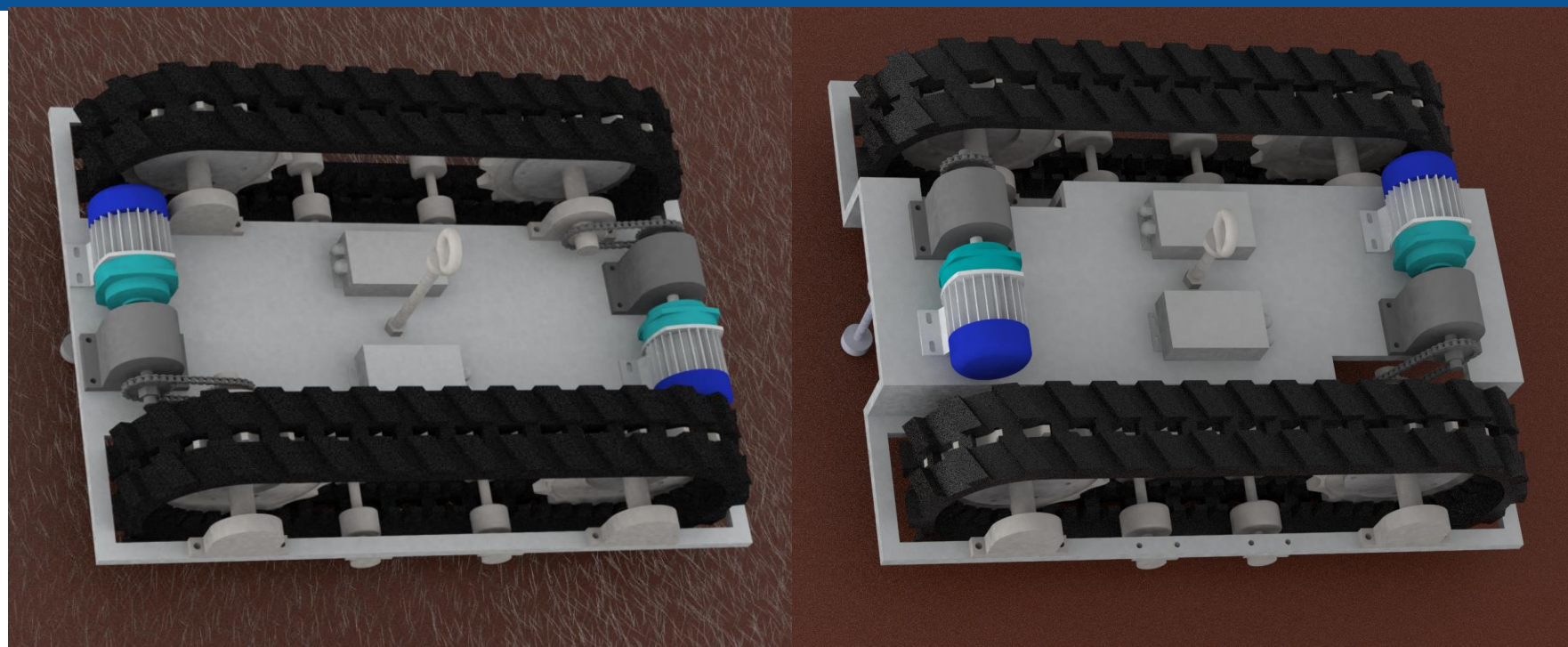
б)



Комп'ютерна система для моніторингу та операторського керування параметрами плавучого доку:

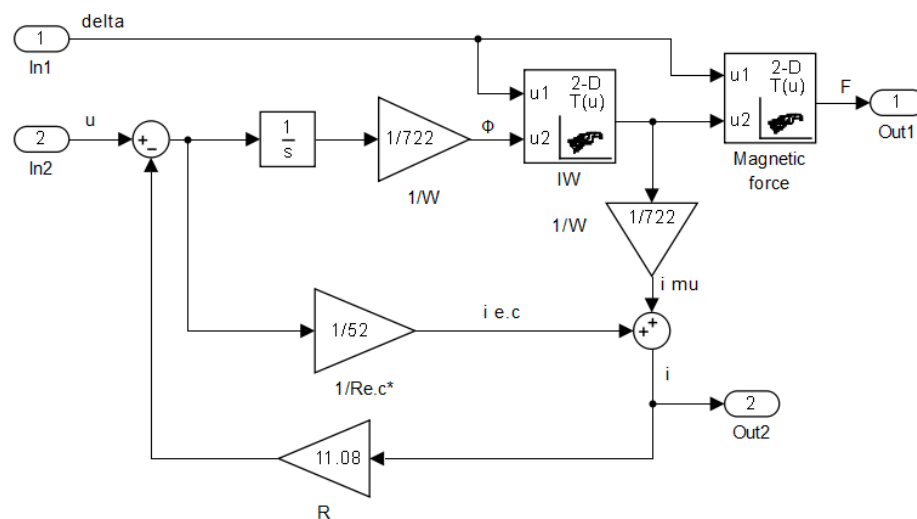
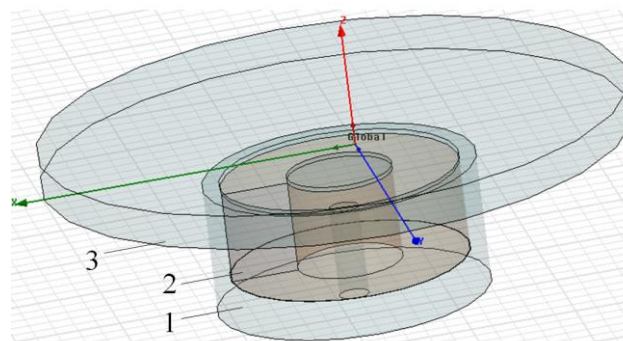
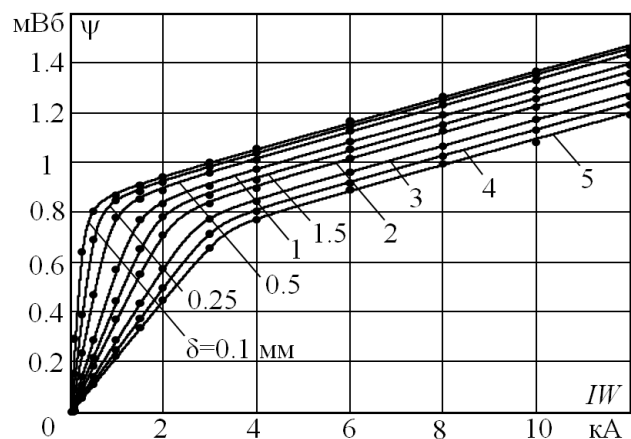
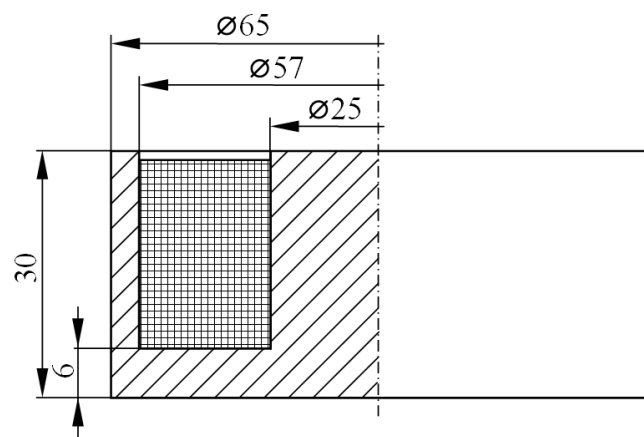
а – рівень контролю та моніторингу; б – підсистема віддаленого сповіщення діагностичної інформації в хмарний сервіс ThingSpeak

3D-моделі мобільного робота для опрацювання пошкоджених поверхонь та їх основні технічні параметри



Параметр	Значення
Номінальна потужність електричних двигунів, Вт	1500
Номінальна швидкість руху робота, м/с	0,3
Довжина робота з плоскою (вигнутою) конструкцією рами, мм	1130
Ширина робота з плоскою (вигнутою) конструкцією рами, мм	847 (869)
Висота робота з плоскою (вигнутою) конструкцією рами, мм	344 (463)
Маса робота з плоскою (вигнутою) конструкцією рами, кг	167 (178,5)

Модель притискних електромагнітів мобільного робота



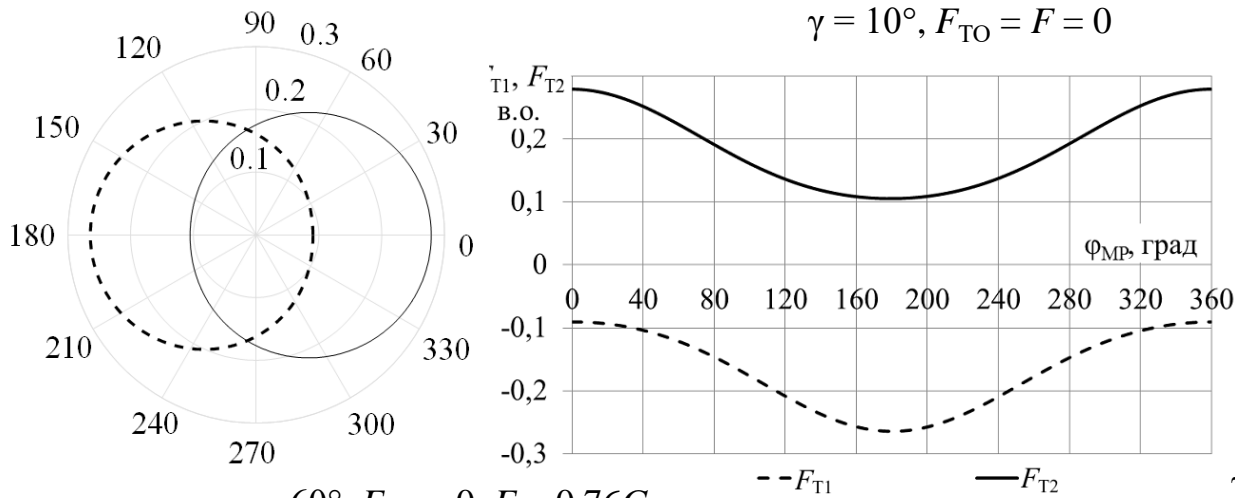
Комп'ютерна модель електромагніту

Графіки апроксимованих залежностей $\psi_j(IW)$

Результати моделювання просторового руху мобільного робота

Графіки зміни відносних сил тяги F_{T1}^* (пунктирна лінія) та F_{T2}^* (суцільна лінія) в координатах курсового кута Φ_{MP} :

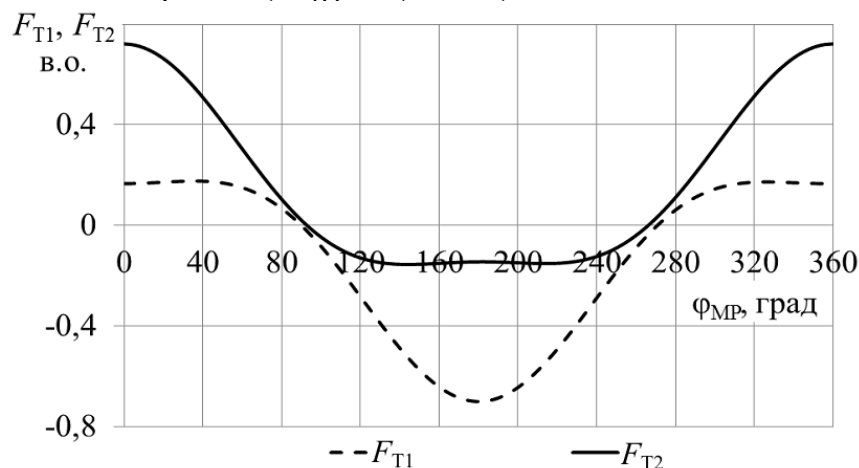
$$\gamma = 10^\circ, F_{TO} = F = 0$$



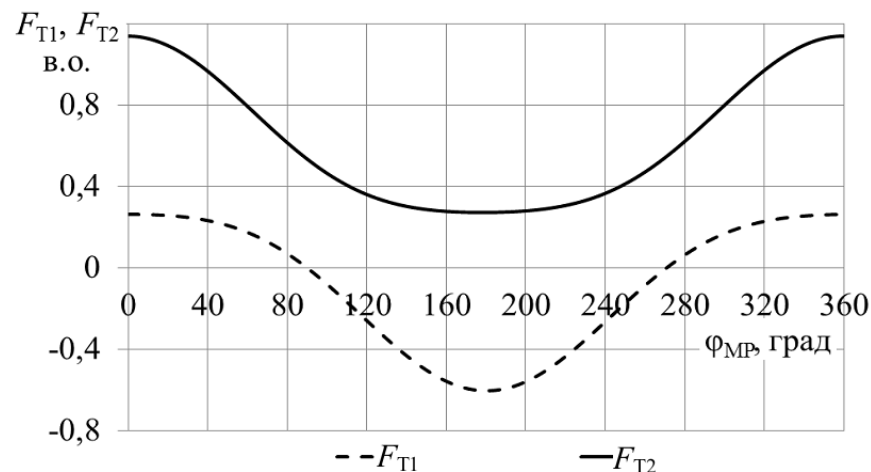
Аналіз адекватності на базі статистичних показників у різних режимах роботи МР

Потужність	Статистичні показники та кут нахилу			
	SSE		RMSE	
	0°	30°	0°	30°
30 %	0.0199	0.0015	0.0220	0.0061
50 %	0.0220	0.0127	0.0232	0.0176
80 %	0.2482	0.0421	0.0778	0.0320

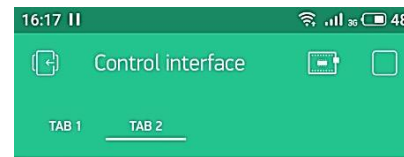
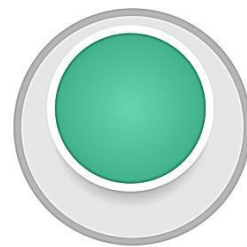
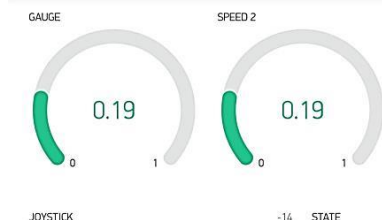
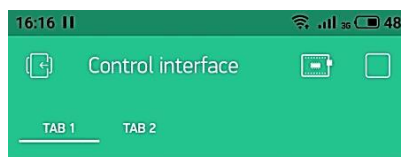
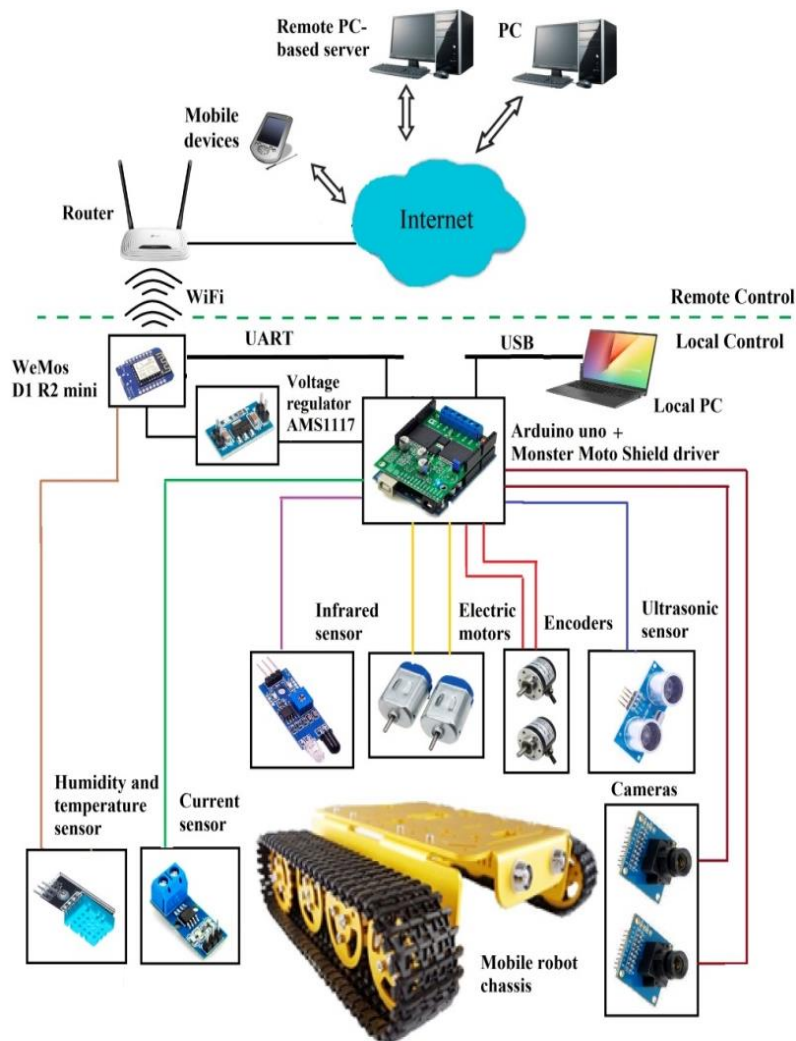
$$\gamma = 60^\circ, F_{TO} = 0, F = 0,76G$$



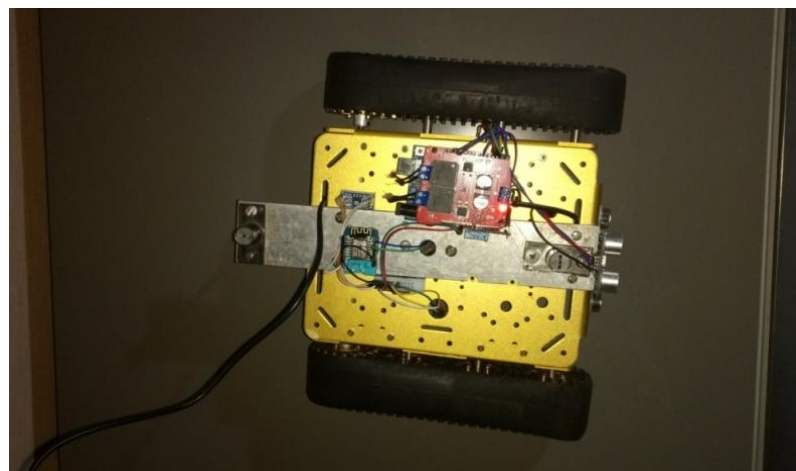
$$\gamma = 60^\circ, F_{TO} = 0,5G; F = 1,5G$$



Система керування мобільним роботом на основі технології Інтернету речей



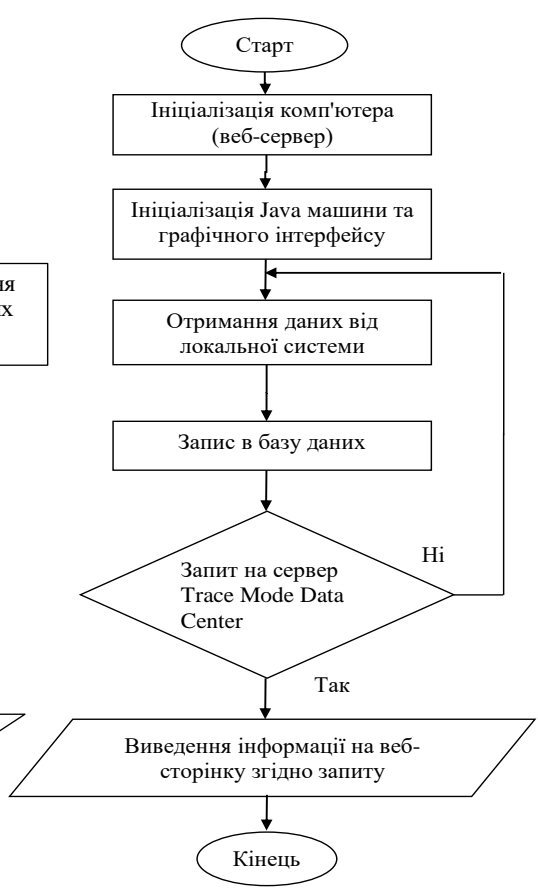
Live
TEMPERATURE 22
HUMIDITY 51
DISTANCE Clear ahead



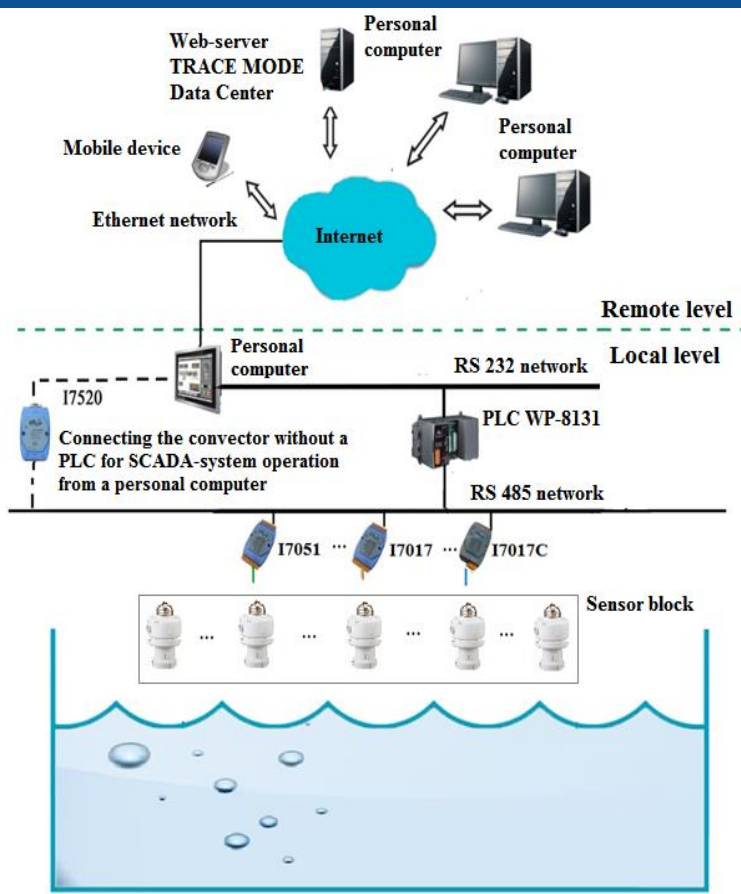
Інформаційно-вимірювальна система оперативного екологічного моніторингу водного середовища акваторії на основі технологій IoT



Алгоритм роботи локальної частини SCADA системи операторського моніторингу параметрів води

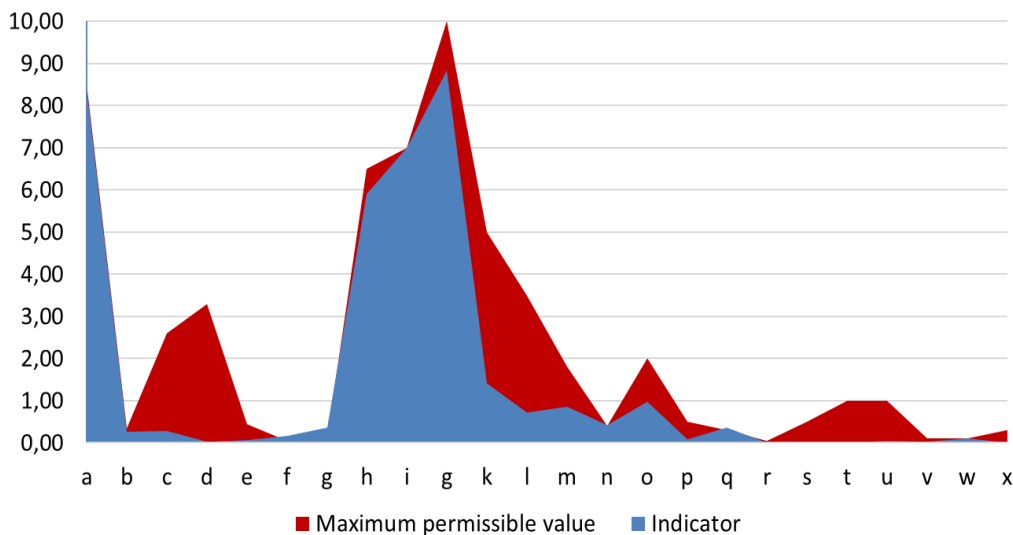
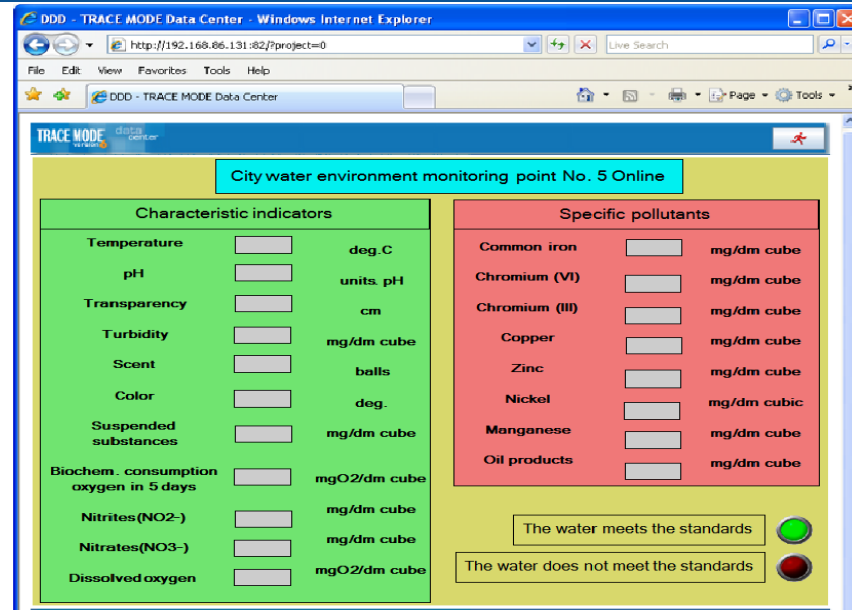
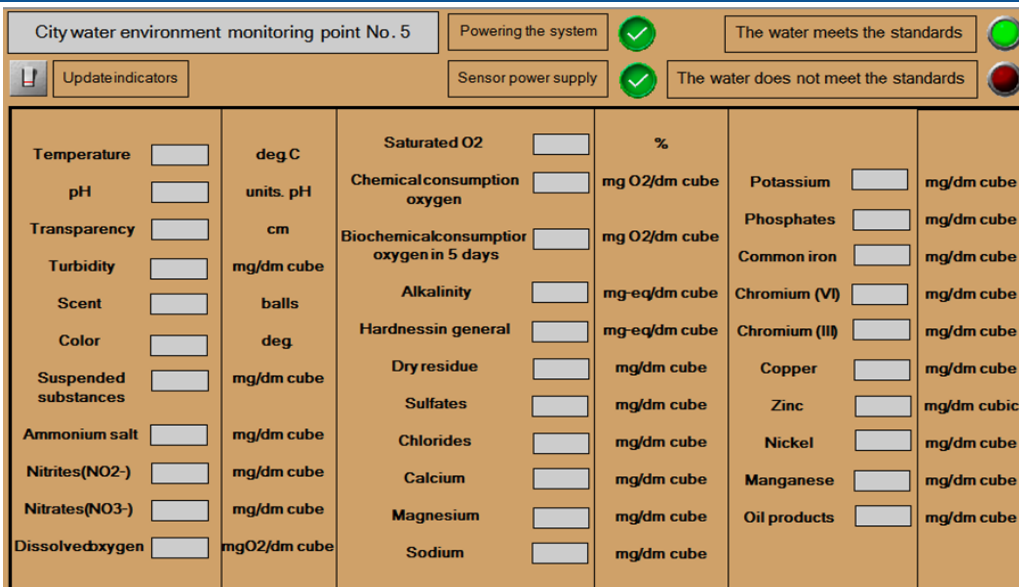


Алгоритм роботи віддаленої частини SCADA системи операторського моніторингу параметрів води



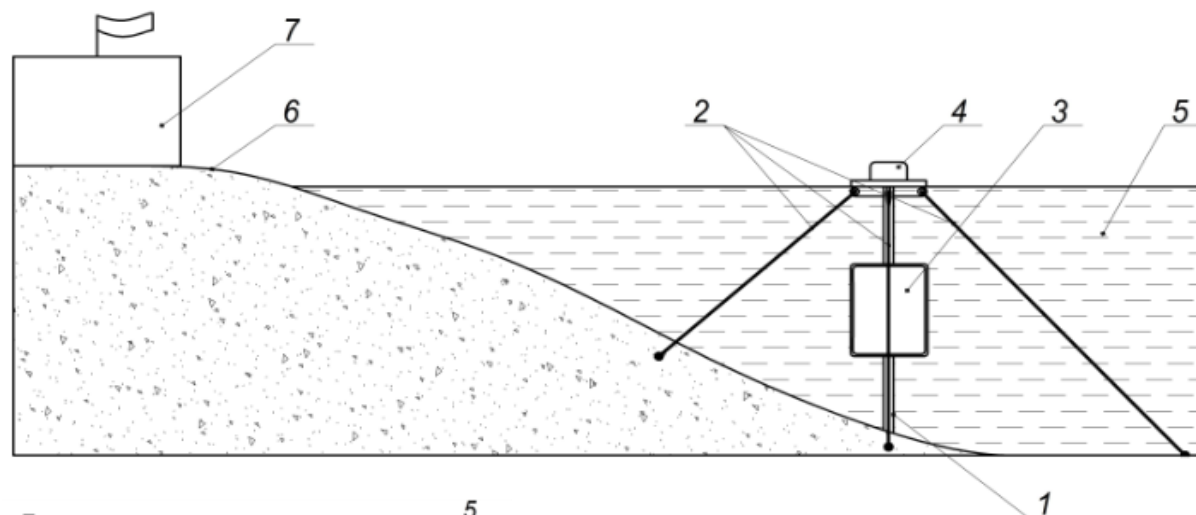
Функціональна структура комп'ютерної системи контролю параметрів водного середовища на основі технології Internet of Things

Інтерфейси системи оперативного екологічного моніторингу водного середовища акваторії на основі технологій ІоТ

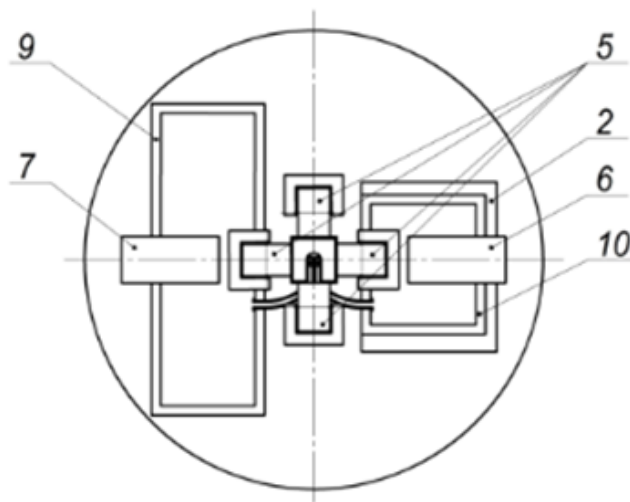
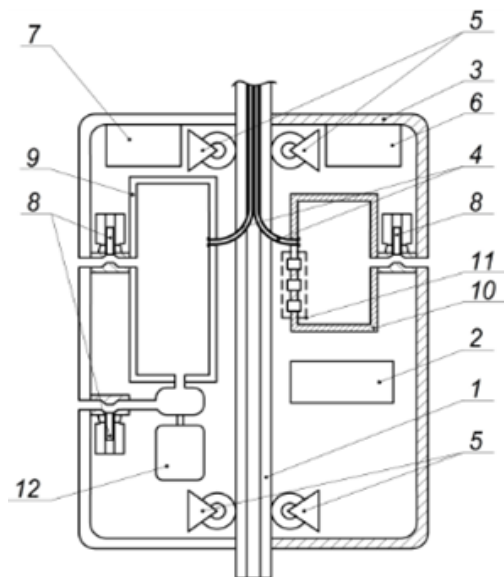


a – одиниці Ph, pH; b – колір, град.*10²; в – амонійна сіль, (мг/дм³); d – нітрит (NO₂⁻), (мг/дм³); e – нітрит (NO₃⁻), (мг/дм³)*10²; f – розчинений кисень, (мгO₂/дм³)*10²; g – хімічне споживання кисню, (мгO₂/дм³)*10²; h – лужність, (мг-екв/дм³); i – жорсткість загальна, (мг-екв/дм³); j – сухий залишок, (мг/дм³)*10²; k – сульфати, (мг/дм³)*10²; l – хлориди, (мг/дм³)*10²; m – кальцій, (мг/дм³)*10²; n – магній, (мг/дм³)*10²; o – натрій, (мг/дм³)*10²; p – калій, (мг/дм³)*10²; q – залізо звичайне, (мг/дм³); r – хром (VI), (мг/дм³); s – хром (III), (мг/дм³); t – мідь (мг/дм³); u – цинк, (мг/дм³); v – нікель, (мг/дм³); w – марганець, (мг/дм³); x – нафтопродукти, (мг/дм³)

Автономний робот для відбору і аналізу проб води



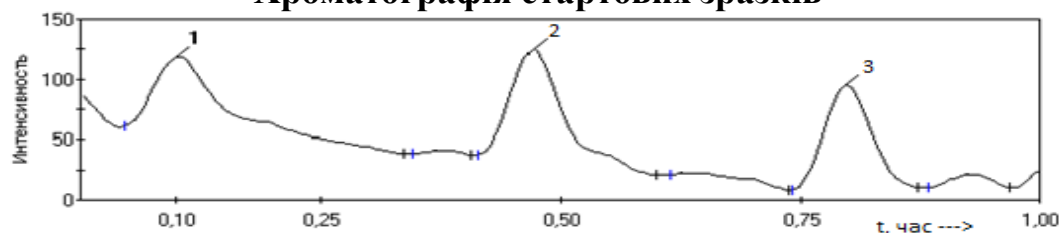
Загальний вигляд автономного робота у водному середовищі та береговий пост: 1 – мачта; 2 – розпірні опори мачти; 3 – автономний робот; 4 – підпружинена пластикова котушка з повітряними шлангами; 5 – водне середовище; 6 – берег водоймища; 7 – береговий пост контролю.



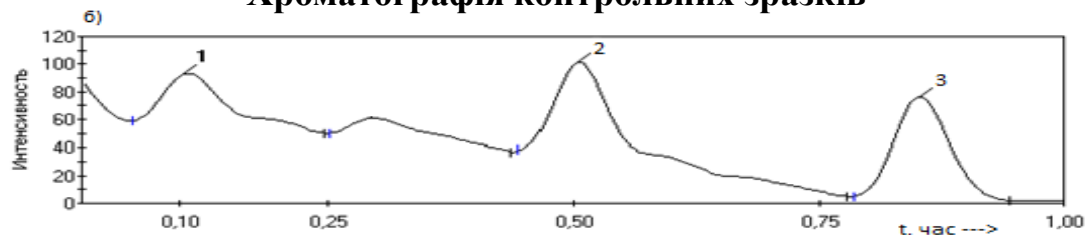
1 – корпус автономного робота; 2 – мачта; 3 – повітряні шланги; 4 – направляючі ролики; 5 – блок керування; 6 – блок передачі даних; 7 – батарея живлення; 8 – електромагнітні клапани; 9 – відцентровий насос; 10 – блок датчиків; 11 – баластна ємність; 12 – аналізатор.

Результати хроматографічного аналізу нафтовмісних зразків під дією мікроорганізмів *Vacillus*

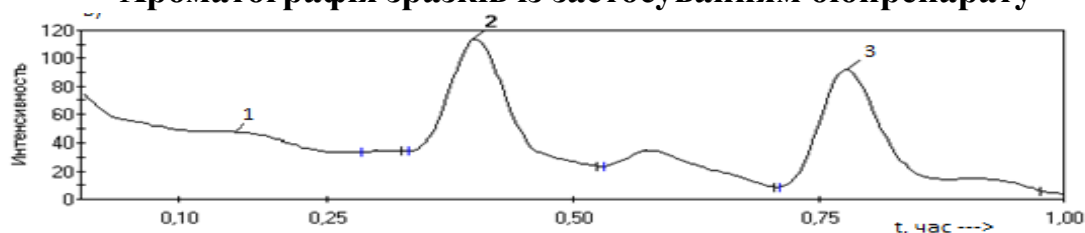
Хроматографія стартових зразків



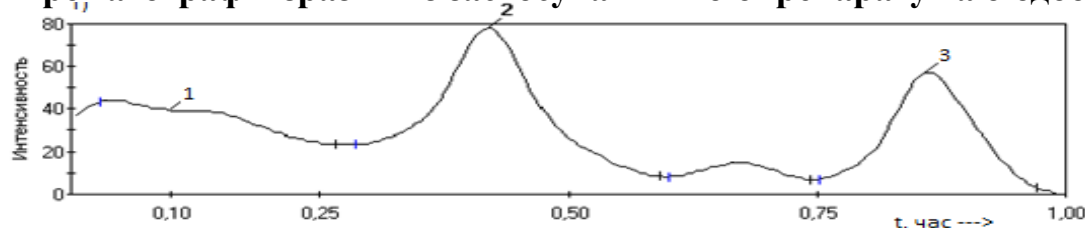
Хроматографія контрольних зразків



Хроматографія зразків із застосуванням біопрепарату



Хроматографія зразків із застосуванням біопрепарату та біодобрив



№ піку	Висота, ум. од.	Площа, %
1	64	30,65
2	93	35,80
3	102	33,55
58024 мг/кг		

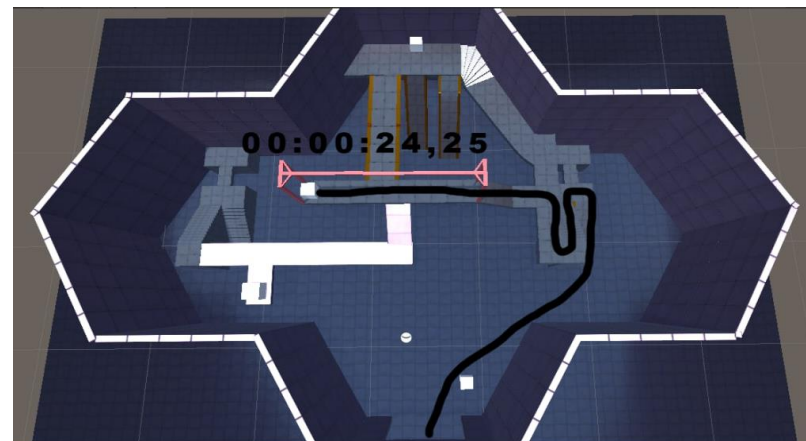
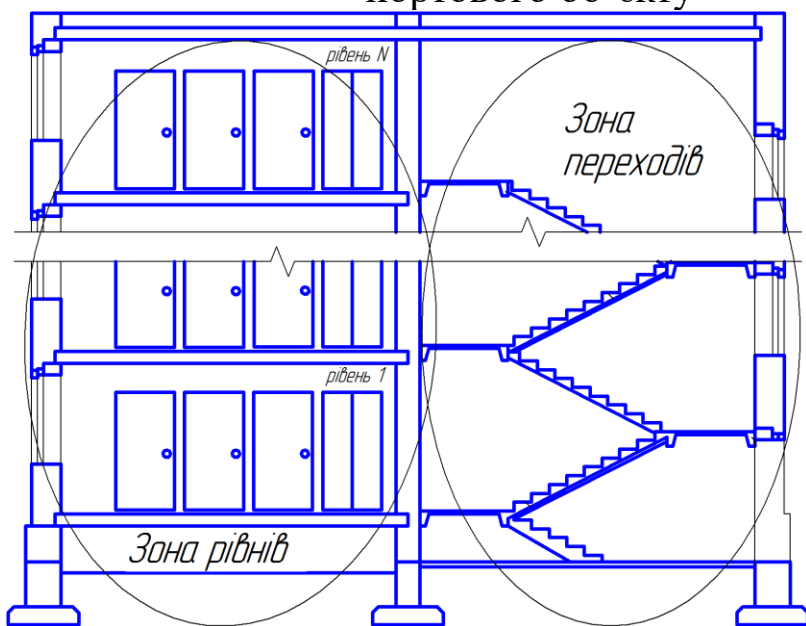
1	38	24,60
2	76	43,32
3	72	32,08
55976 мг/кг		

1	19	11,97
2	87	42,59
3	85	45,35
47904 мг/кг		

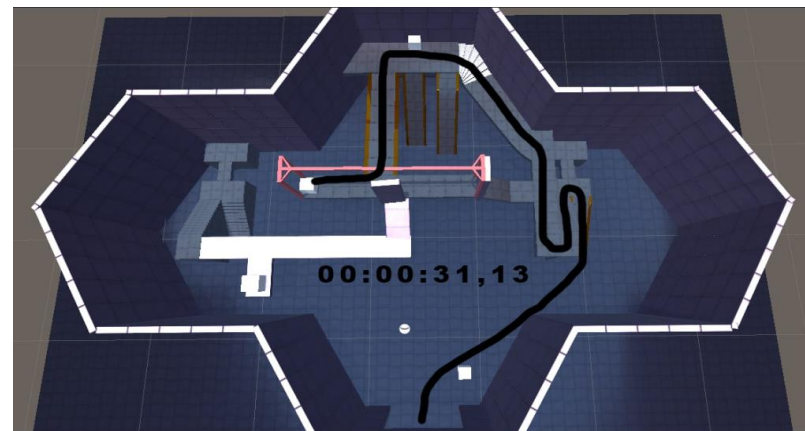
1	9	9,06
2	62	51,30
3	54	39,64
37992 мг/кг		

Концепція орієнтування мобільного робота в багаторівневому середовищі порту та інформаційна система глобальної навігації

Один з прикладів багаторівневого середовища портового об'єкту



Маршрут без перешкод

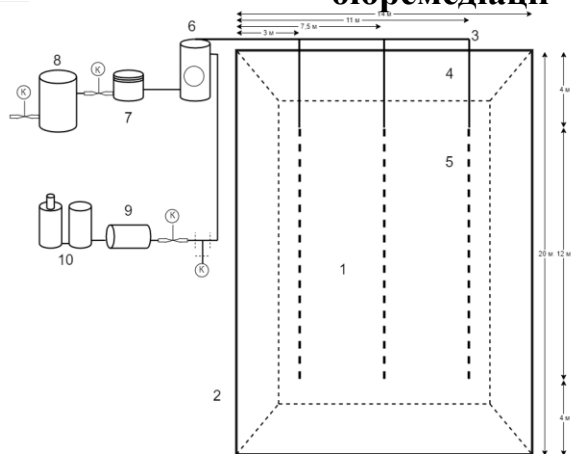


Маршрут з 2 перешкодами

Маршрут	Час, с	Кількість		Діапазон кутів повороту, °	Прямі ділянки всього шляху, %
		поворотів	прямих ділянок		
без перешкод	24,25	5	5	60-180	47
1 перешкода	26,31	6	6	30-180	57
2 перешкоди	31,13	8	9	60-180	53

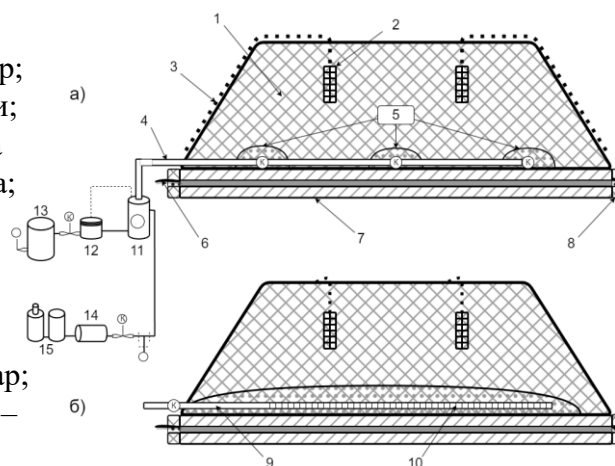
Облаштування ділянки для біоремедіації нафтовмісних відходів та забезпечення аерації та рециркуляції добрив

Загальна схема ділянки для проведення біоремедіації



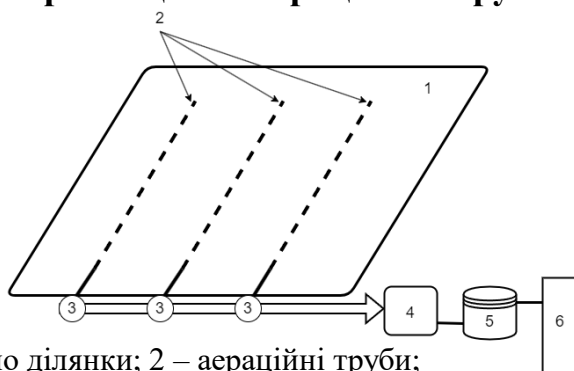
- 1 – ділянка;
- 2 – захисний бар'єр;
- 3 – аераційні труби;
- 4 – неперфорована з'єднувальна труба;
- 5 – перфорована аераційна труба;
- 6 – сепаратор ;
- 7 – фільтраційний насос; 8 – резервуар;
- 9 – повітродув; 10 – система очищення повітря.

Розміщення основних елементів технологічної схеми



- а) – фронтальний вид,
- б) – вид збоку,
- 1 – забруднена ґрунтосуміш,
- 2 – точка моніторингу,
- 3 – кріплення точки моніторингу (кріплення швидкого з'єднання),
- 4 – колекторна труба,
- 5 – насип із дрібного гравію,
- 6 – облицювальний настил (HDPE),
- 7 – основа, 8 – кріплення настилу,
- 9 – неперфорована з'єднувальна труба,
- 10 – перфорована аераційна труба,
- 11 – сепаратор ;
- 12 – фільтраційний насос; 13 – резервуар;
- 14 – повітродув;
- 15 – система очищення повітря.

Схема розміщення аераційних труб



- 1 – дно ділянки; 2 – аераційні труби;
- 3 – клапани; 4 – сепаратор; 5 – насос;
- 6 – резервуар.

Комбінована система аерації та збору рідини

- 1 – облицювальний матеріал;
- 2 – площадка з нахилом (1-2%);
- 3 – сепаратор;
- 4 – фільтраційний насос;
- 5 – резервуар;
- 6 – повітродув;
- 7 – вихлоп.

